

# CONCEPTOS DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO **DE AGUACATE**



*Producto derivado del Proyecto de Innovación  
“Optimización de planes de fertilización mediante el uso de  
programación lineal y sensores de variables agronómicas y climáticas,  
de los productores de aguacate en el Oriente Antioqueño”.*

*Proyecto Financiado por el Sistema de Investigación,  
Desarrollo Tecnológico e Innovación - SENNOVA del SENA.*

*2019*



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](#).

Catalogación en la publicación. SENA Sistema de Bibliotecas

Conceptos de fertilización para el cultivo de aguacate / Pedro Andrés Rengifo Mejía, Giovanni Alfonso Mora Gaviria, Eliana María Estrada Mesa, José David Londoño Zuluaga, Manuel Steven Guzmán Muñoz. -- Primera edición. -- Rionegro, Antioquia : SENA. Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación, 2019.

1 recurso en línea (51 páginas) : PDF

Bibliografía: páginas 45-51

Contenido: ¿Qué es un fertilizante? -- Importancia de la fertilización para los cultivos -- Estado actual del uso de fertilizantes -- El suelo -- Variables físicas -- Variables químicas -- Los macronutrientes -- Variables biológicas -- ¿Qué es la materia orgánica del suelo? -- Variables climáticas -- Contenido nutricional -- La fertilización y la importancia del análisis de suelos y foliar en el cultivo de aguacate -- El análisis y su integración a los planes de fertilización. ISBN: 978-958-15-0516-6.

1. Aguacate--Cultivo 2. Aguacate--Abonos y fertilizantes I. Rengifo Mejía, Pedro Andrés II. Mora Gaviria, Giovanni Alfonso III. Estrada Mesa, Eliana María IV. Londoño Zuluaga, José David V. Guzmán Muñoz Manuel Steven VI. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

CDD: 634.6535

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA

**Título**

CONCEPTOS DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE AGUACATE

**ISBN: 978-958-15-0516-6**

**Autores**

Pedro Andrés Rengifo Mejía  
Giovani Alfonso Mora Gaviria  
Eliana María Estrada Mesa  
José David Londoño Zuluaga  
Manuel Steven Guzmán Muñoz

**Director general**

Carlos Mario Estrada Molina

**Director regional Antioquia**

Juan Felipe Rendón Ochoa

**Subdirector Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación**

Jorge Antonio Londoño

**Diseño de portada**

Leider Restrepo

**Diseño y Diagramación**

Ana Isabel Pino Patiño

**Primera edición**

Octubre, 2019

**Rionegro - Antioquia**

2019

© *Producto derivado del Proyecto de Innovación “Optimización de planes de fertilización mediante el uso de programación lineal y sensores de variables agronómicas y climáticas, de los productores de aguacate en el Oriente Antioqueño”. Proyecto Financiado por el Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación – SENNOVA del SENA. 2019*



# CONTENIDO

## CAPÍTULO 1

¿Qué es un fertilizante? .....	8
Importancia de la fertilización para los cultivos .....	12
Estado actual del uso de fertilizantes .....	13

## CAPÍTULO II

El Suelo .....	17
Variables físicas .....	18
Variables químicas .....	22
Los macronutrientes .....	25
Variables biológicas .....	28
¿Qué es la materia orgánica del suelo? .....	29
Variables climáticas .....	30



## CAPÍTULO III

Contenido nutricional ..... 34

La fertilización y la importancia del análisis de suelos y  
foliar en el cultivo de aguacate..... 35

El análisis foliar y su integración a los planes de  
fertilización ..... 39

**Bibliografía** ..... 45

A close-up photograph of several green avocados hanging from a branch. The avocados have a bumpy, textured skin and are surrounded by green leaves. The lighting is natural, highlighting the vibrant green color of the fruit.

# INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) se ha convertido en una fruta altamente apetecida por su valor nutricional, exquisito sabor y beneficios para la salud. En virtud de ello, se ha posicionado como la tercera fruta fresca tropical, más importante a nivel global, después del mango y la piña, esto teniendo en cuenta su producción y comercialización internacional (FAO , 2017). Lo cual, sumado al aumento del poder adquisitivo de las personas en países emergentes como India y China, ha propiciado el incremento de los consumidores que demandan este producto.

Para el año 2018 Agronet reporta un área en producción de 55,777 ha, con un rendimiento promedio de 9,77 ton/Ha, siendo los principales departamentos productores: Tolima, Caldas y Antioquia. Es importante destacar que este último lidera las exportaciones hacia el exterior, a pesar de tener una menor área sembrada.

Los principales destinos de exportación del aguacate colombiano son los Países Bajos (51,4%): Reino Unido (21,4%); España (11,7%) y Bélgica (7,9%). Otros países como Francia, Arabia Saudita y Estados Unidos representan conjuntamente el 7,6% de las exportaciones restantes (Portal Frutícola , 2019). Esto demuestra la diversidad del mercado y las crecientes oportunidades que este agro-negocio ofrece para todos sus actores involucrados.





Por su ubicación geográfica y condiciones climáticas, Colombia tiene ventajas comparativas para su producción, con respecto a otros países. Sin embargo, se requieren estrategias integrales que promuevan la competitividad y sostenibilidad del cultivo. En este sentido, la fertilización es un pilar fundamental, ya que constituye un desafío agronómico y económico, porque aún se presentan falencias en su dosificación y aplicación.

Los planes de fertilización le permiten al productor un adecuado uso de los insumos en la nutrición de los cultivos, de esta manera, la optimización de los fertilizantes y correctivos aplicados en los suelos, contribuye al cuidado del medio ambiente, siendo éste uno de los principios básicos de las Buenas Prácticas Agrícolas. Para el cultivo de aguacate específicamente, estas prácticas permiten alcanzar un rendimiento adecuado y la obtención de un fruto de alta calidad.

En este sentido, desde el Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación, localizado en Rionegro, Antioquia, se pone a disposición del público el presente documento, que aborda de manera general los parámetros más relevantes para el cultivo de aguacate y su fertilización, esto con el fin de ser una fuente de consulta para los interesados en el tema.

**Nota:** Esta cartilla cuenta con temas introductorios, que el próximo año se ampliarán en una segunda versión, donde se tratarán temas de requerimientos nutricionales, sinergismo y antagonismos de nutrientes, interpretación de análisis de suelos y deficiencias en el cultivo de aguacate.





# CAPÍTULO I

## ASPECTOS GENERALES **SOBRE LA FERTILIZACIÓN**





## ¿QUÉ ES UN FERTILIZANTE?

Se entiende por fertilizante “Cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) (FAO, 2002, p. 33)”. Se trata de sustancias que se componen de nutrientes, cuyo propósito fundamental es ser asimilados por las plantas, a través de técnicas de aplicación foliares (por medio de las hojas de las plantas), edáficas (directamente al suelo) y de fertirriego (mediante los sistemas de riego). Cuando se hace el aporte de estos nutrientes se desarrollan una serie de procesos como reacciones químicas tipo redox, descomposición microbiana, respiración del suelo, entre otros; que permiten que las plantas tengan lo necesario para su crecimiento (Cardona & Bolaños Benavides, 2019). Aunque las plantas no diferencian entre una molécula originada a partir de una composición sintética y otra derivada de un compost, pues desde el punto de vista químico son iguales, sí experimentan alteraciones desde el ámbito biológico, una vez que, para el caso de la composición sintética la molécula resultante es pura, mientras que, para aquella suscitada biológicamente, es necesario un complejo proceso, en el que intervienen diversos microorganismos y oligoelementos<sup>1</sup>. Al realizar una analogía entre estas dos maneras de fertilizar y la asimilación humana de nutrientes, la primera se podría comparar con una transfusión y la segunda con una alimentación integral (Danneyrolles, 2012).



<sup>1</sup> Se relacionan con los minerales secundarios presentes en las células y tejidos del organismo animal y vegetal y forman diversas combinaciones químicas, claves para el crecimiento, salud y productividad.

## *Tipos de fertilización*

Existen diversos tipos de fertilizantes, su utilización depende fundamentalmente de las características del cultivo y del suelo en el que van a ser aplicados. Entre los abonos empleados en las prácticas agronómicas se tienen: los Orgánicos y los Químicos. No obstante, a lo largo de la historia han aparecido nuevos enfoques de nutrición vegetal, tales como los Bio-fertilizantes, a continuación, se amplía la información a cerca de cada uno de ellos.

### *Fertilización orgánica*

Los fertilizantes orgánicos son sustancias que pueden estar compuestas por restos de cosechas, estiércoles, residuos de procesos agroindustriales, entre otros elementos. Estos materiales son materiales muy heterogéneos, cuyas propiedades pueden variar ampliamente según su origen y tratamiento. Las materias primas para la preparación de fertilizantes orgánicos son muy abundantes y el costo de preparación es bajo. La aplicación a largo plazo de fertilizantes orgánicos también mejora la fertilidad del suelo al alterar significativamente las propiedades fisicoquímicas y las comunidades microbianas.

La combinación de fosfato y fertilizante orgánico promueve la actividad y la diversidad microbiana del suelo para mejorar en última instancia la función biológica y la productividad del suelo. Sin embargo, la aplicación de fertilizante compuesto orgánico-inorgánico parece producir mayor actividad enzimática, por lo tanto, mayor fertilidad del suelo y sostenibilidad productividad que el fertilizante orgánico solamente (Wang et al., 2019). En conformidad con estos mismos autores, la flora microbiana disminuye los desequilibrios del sustrato, proporcionando una nutrición adecuada para las plantas, de modo que sean más resistentes ante plagas y enfermedades.

## ✿ *Bio-fertilizantes* ✿

Los biofertilizantes son sustancias que contienen células microbianas vivas o latentes que promueven el crecimiento de la planta al aumentar la disponibilidad de nutrientes de la planta en la rizosfera a través de diversos procesos biológicos. La demanda de biofertilizantes está prosperando debido a sus amplias ventajas tanto para el ser humano como para el medio ambiente. Los biofertilizantes pueden mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas y aumentar el rendimiento de los cultivos.

Los microorganismos beneficiosos facilitan la disolución de nutrientes ligados o no disponibles en los fertilizantes orgánicos, el compost o el suelo lo hacen accesibles para la absorción de la planta. Los microorganismos beneficiosos también producen hormonas vegetales que pueden mejorar el crecimiento de las raíces y controlar la propagación de agentes patógenos a través de la producción de productos orgánicos, como ácidos, antibióticos, enzimas, etc. En general los microorganismos beneficiosos tienen la capacidad de hacer que los nutrientes insolubles estén disponibles para la absorción de las plantas (Stella, Theeba, & Illani, 2019).

## ✿ *Fertilización química* ✿

La fertilización química está relacionada con procesos sintéticos desarrollados en laboratorios o fábricas, con el propósito de obtener elementos o compuestos nutritivos rápidamente disponibles para las plantas. Este componente debe cumplir con dos condiciones: Contener uno o más nutrientes para el desarrollo de las plantas y que estos deben estar en su estado aprovechable (Guerrero Riascos, s.f). En general los fertilizantes químicos son solubles en agua, presentando alta disponibilidad para las plantas, pero a su vez en épocas de exceso de lluvias, estos nutrientes pueden

ser desaprovechados, ya que por efecto de la lixiviación estos terminan en cuerpos de agua.

Los fertilizantes químicos o sintéticos hacen referencia al conjunto de elementos químicos que tienen como propósito fundamental mejorar el estado biológico de las plantas, para lo cual, enfocan sus esfuerzos en incrementar el bienestar de las raíces en el suelo, de modo que, se genere un desarrollo más rápido y con mejores estándares de calidad en los cultivos (Universidad de Valencia, 2015). Este tipo de fertilización, también conocida como convencional o de síntesis química, por lo general, requiere una inversión económica importante y si no es ejecutada de manera adecuada puede propiciar efectos ambientales negativos en los sistemas productivos (Torres-Moya, et al. 2016).

En conformidad con Bojórquez et al. (2010) esta manera de fertilizar presenta baja eficiencia ( $\leq 50\%$ ) en la asimilación de los cultivos, de modo que, el fertilizante que no logra incorporarse a la planta, origina un impacto ambiental negativo, el cual se evidencia en la generación de eutrofización, lluvia ácida y aumento de temperatura.

En este sentido, autores como Fernandez-Mena, Nesme, & Pellerin (2016) plantean la necesidad de mejorar el reciclaje de nutrientes en este modelo de fertilización, con el fin de mantener la producción de alimentos y minimizar la contaminación en el medio ambiente, generada por la excesiva aplicación de nutrientes, para lo cual determinan que comprender y modelar los ciclos nutricionales de las plantas es una tarea trascendental.







# IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN PARA LOS CULTIVOS

La productividad sostenida de los cultivos depende de la renovación constante de los nutrientes del suelo y del suministro de agua. Por lo tanto, la aplicación de fertilizantes, ya sean químicos u orgánicos y la mayor captura de agua son factores necesarios para mejorar los rendimientos de los cultivos y mantener la fertilidad del suelo (Zhang, 2019).

La materia orgánica del suelo es un componente crítico para su productividad, pues influye en una amplia gama de atributos físicos, químicos y biológicos, incluida la formación y estabilización de agregados del suelo, ciclos de nutrientes, retención de agua, supresión de enfermedades, pH, capacidad de almacenamiento e intercambio catiónico. En consecuencia, la materia orgánica es importante desde una perspectiva agronómica porque tiene el potencial de influir en el rendimiento del cultivo, a través de cualquiera de estos procesos.



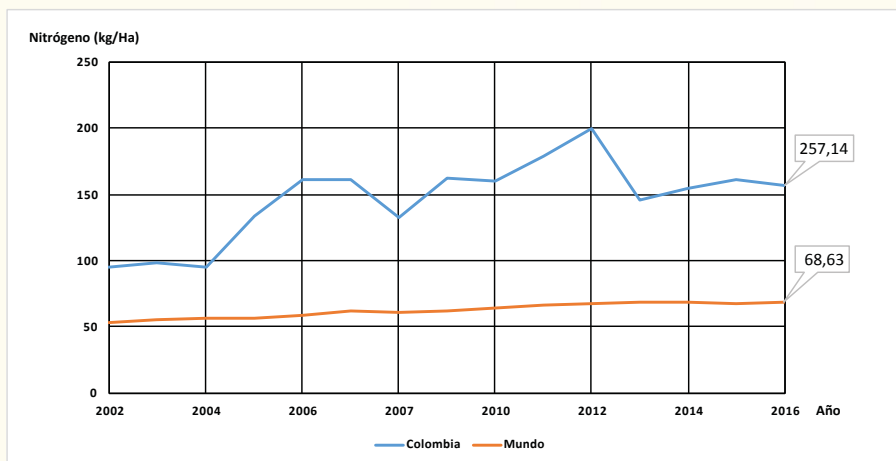


## ESTADO ACTUAL DEL USO DE FERTILIZANTES

Una situación recurrente en el consumo de fertilizantes, tanto a nivel local, como internacional, es su uso indiscriminado, esto acontece debido a que el productor, generalmente no está empleando el análisis de suelo como herramienta para efectuar un conveniente programa de fertilización en sus cultivos, o en su defecto, los asistentes y asesores en las fincas no lo están realizando de la manera adecuada.

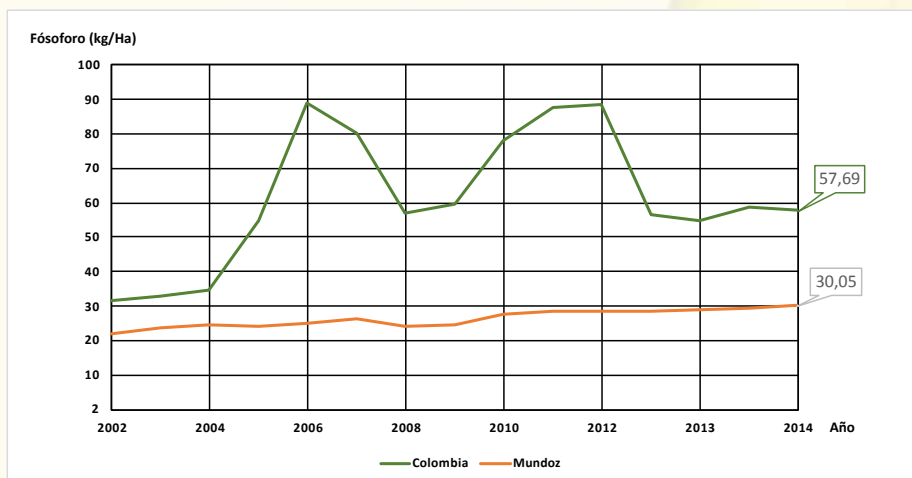
Al respecto, Rebolledo & Dorado (2017) mencionan que la mayoría de productores de aguacate en Colombia desconoce y otro tanto no aplica criterios básicos para el manejo de la fertilización de sus cultivos, lo que sumado a otras prácticas de manejo deficientes (aplicación de riego, manejo de plagas y enfermedades, labores de cosecha oportunas, etc.), convierten al aguacate en un cultivo con bajo nivel de tecnificación. Para 2018 se obtuvo a nivel nacional un rendimiento promedio de 9,7 t/ha (Agronet 2018), el cual se considera insuficiente, si se compara con el rendimiento potencial, reportado en 32,5 t/ha (Rebolledo R. & Dorado G., 2017).

Cifras de FAOSTAT (2019) demuestran el alto consumo de fertilizantes en nitrógeno, fósforo y potasio en Colombia, para el año 2016 se encontraba en 157,14 Kg/Ha; 57,69 Kg/Ha; 94,95 Kg/Ha para estos nutrientes respectivamente (Figuras 1, 2 y 3).



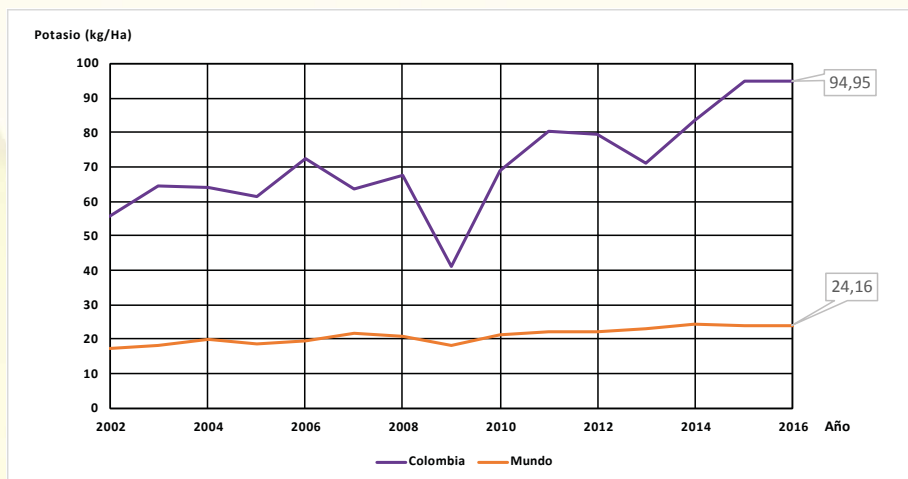
**Figura 1.** Comparación en el consumo de fertilizantes de tipo nitrogenado en Kg/Ha entre Colombia y el mundo.

**Fuente.** <http://www.fao.org/faostat/es/#compare>, gráfico elaborado a partir de los datos de la fuente



**Figura 2.** Comparación en el consumo de fertilizantes de tipo fertilizantes fosfatados (total de nutrientes de P205) en Kg/Ha entre Colombia y el mundo.

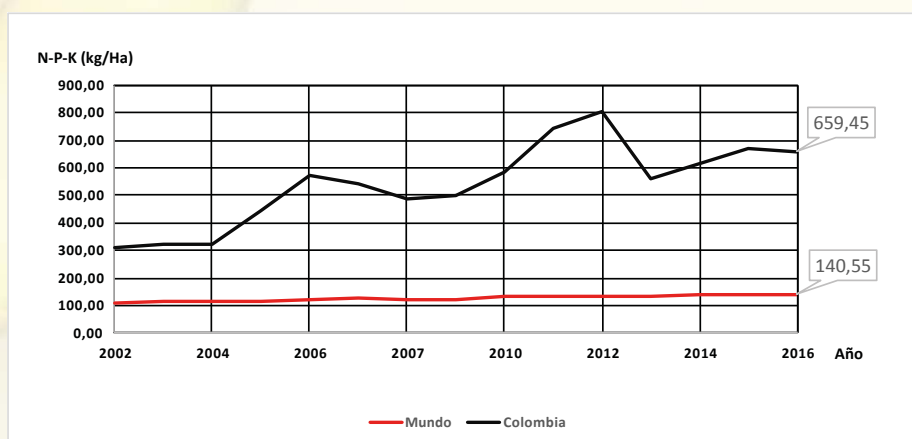
**Fuente.** <http://www.fao.org/faostat/es/#compare>, gráfico elaborado a partir de los datos de la fuente.



**Figura 3.** Comparación en el consumo de fertilizantes de tipo potasa K<sub>2</sub>O en Kg/Ha entre Colombia y el mundo

**Fuente.** <http://www.fao.org/faostat/es/#compare>, gráfico elaborado a partir de los datos de la fuente.

Cuando se analiza el consumo total promedio de nitrógeno, fósforo y potasio (N-P-K), entre Colombia y el mundo (Figura 4), en un período de 14 años (2002-2016), la media para el país es de 542,6 kg/Ha de N-P-K frente a 126,4 del mundo, resultando en dosificaciones 4,3 veces superiores al promedio global (Banco Mundial, 2019).



**Figura 4.** Consumo de fertilizantes N-P-K en Kg/Ha Colombia frente al mundo

**Fuente.** FAOSTAT, 2019



# CAPÍTULO II

## VARIABLES QUE INCIDEN EN **EL DESARROLLO DEL CULTIVO**





## EL SUELO

El suelo es de vital importancia para el hombre, pues representa el asiento de la vida, es el soporte físico de la mayor cantidad de seres vivos; bien sea porque viven en él, encima de él, o debido a que consiguen su sustento de la vegetación que se desarrolla sobre el mismo. En el ámbito agrícola, es preferible que el suelo cuente con determinadas características minerales, de material orgánico, aire y agua, pues la interrelación ocurrida entre estos elementos, determina el crecimiento de la plantas y la fertilidad del sustrato (Acosta, 2007) . En consecuencia, para alcanzar buenos rendimientos en la etapa de cosecha, el suelo debe poseer los nutrientes requeridos para el desarrollo de las plantas y, una estructura que las conserve firmes y erguidas (FAO, 2000).

De este modo, el suelo tiene variables que son importantes para obtener un adecuado plan de fertilización, es decir, la aplicación artificial de nutrientes, con miras a mejorar su fertilidad. En virtud de lo anterior, al momento de establecer un cultivo de aguacate, es necesario estudiar previamente las condiciones edafo-climáticas del terreno en el cual se desea establecer la plantación, de manera que, éstas sean adecuadas para su desarrollo, y se procure asegurar la rentabilidad de la explotación agrícola. (Campos León & Calderón Zaragoza , 2015).

Para obtener un adecuado plan de fertilización se deben tener en consideración las variables que están presentes en el ambiente, en otras palabras, las características físicas, químicas, biológicas y climáticas; que de acuerdo con Aguilar y su libro “Manejo de nutrientes en suelos del trópico”, influyen en la fertilidad y disponibilidad de nutrientes. En consecuencia, la fertilidad es un factor fundamental para que el suelo sea productivo, no obstante, un suelo fértil, no es necesariamente productivo, dado que existen otros factores externos que pueden limitar su producción (Molina, 2007).



## VARIABLES FÍSICAS

### *Textura*

Corresponde a la proporción de arena, limo y arcilla que se encuentra en el suelo. En la Tabla 1 se presenta su clasificación, según su tamaño en milímetros. Esta medida permite distinguir las partículas en Arena, Limo y Arcilla.

**Tabla 1.** *Clasificación de la textura del Suelo*

Componentes	Tamaño (mm)
Arena	2 - 0,05
Limo	0,05 - 0,002
Arcilla	< 0,002

**Fuente.** Elaboración propia, a partir de datos de USDA (1999).

De acuerdo con Osorio (2014) a las partículas de arcilla se les atribuye mayor actividad fisicoquímica, dado que son las responsables de funciones de suma relevancia, como la retención de agua en el suelo y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aniónico (CIA); actividades que le permiten al suelo retener nutrientes en procesos de lixiviación, esto es, el desplazamiento de sustancias por movimiento del agua. Debido a ello, estas partículas hacen parte fundamental de cualquier suelo, aunque en algunos cultivos, como en el caso del aguacate deben estar en bajas proporciones, pero nunca inexistentes.

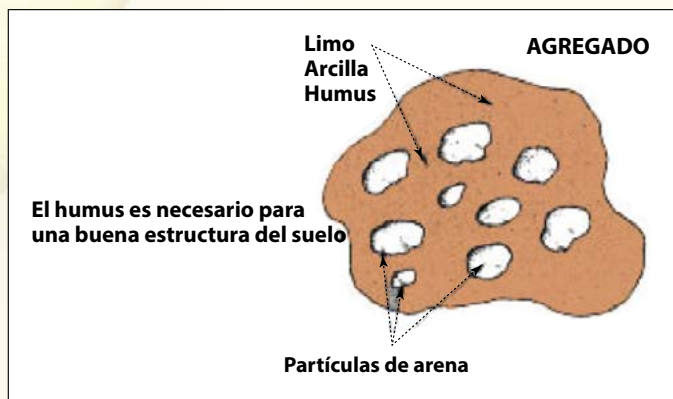
Para el cultivo de aguacate la textura es una variable relevante, ya que si se encuentran suelos pesados, es decir, con mayor contenido de arcillas se pueden generar encharcamientos, los cuales promueven la asfixia radicular (Campos León & Calderón Zaragoza, 2015). Este problema se presenta por la baja disponibilidad de oxígeno en el suelo, debido al exceso de humedad, lo cual dificulta la respiración de la planta a través

de las raíces. La abundancia de agua es la principal causa de la asfixia en las raíces y puede ocasionar la aparición de hongos, que a su vez, pueden originar pudrición. (INTAGRI S.C., 2019).

Las texturas adecuadas para el cultivo de aguacate varían desde las arenas hasta las franco-arcillo-arenosas (FArA), con contenidos menores del 25% de arcillas o en su defecto que la suma del limo y las arcillas no exceda el 55%, de igual manera, el suelo requiere óptimo drenaje y estructura, para que la vida útil del árbol sea mayor. (Mejía Vélez, 2011).

## ✿ Estructura ✿

La estructura del suelo hace referencia a la manera como las partículas de arena, limo y arcilla se agrupan en el suelo, de modo que, al unirse aumentan su tamaño, convirtiéndose en agregados (FAO, s.f). En la Figura 5 se observa un agregado compuesto por estas partículas, destacándose el tamaño superior de la arena en relación a los otros componentes. La estructura se relaciona fundamentalmente con cuán grandes serán los espacios encontrados en los suelos a través de los cuales se distribuyen las raíces, el aire y el agua (GLOBE, 1997).



**Figura 5.** Agregado del Suelo

**Fuente.** Tomada del capítulo de estructura del suelo de la FAO.



Los agregados pueden tener diferentes formas, destacándose, de acuerdo con la FAO, cuatro tipologías principales:

**Granular y migajosa:** Se caracteriza por poseer partículas individuales de arena, limo y arcilla conglomerados en gránulos pequeños de figura esférica. El principal beneficio de este tipo de estructura, radica en la fácil circulación del agua, a través del suelo.

**Bloques subangulares:** Está conformada por bloques agrupados, de forma cuadrada y bordes más o menos pronunciados. Bloques relativamente grandes apuntan un suelo con resistencia a la penetración y desplazamiento de agua.

**Prismáticas y columnares:** Determinada por partículas de suelo constituidas como columnas o pilares verticales, divididas por minúsculas fisuras. Al igual que los bloques subangulares, presenta dificultad en la circulación del agua, además de, un drenaje deficiente.

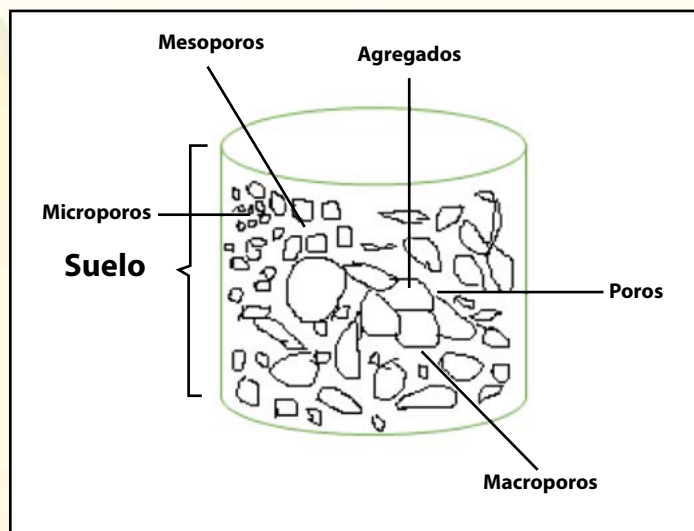
**Laminar:** Se trata de partículas de suelo adheridas en forma de láminas, acumuladas de forma horizontal una sobre otra. Con frecuencia, estas láminas se sobreponen, lo cual dificulta, de manera notable, la circulación del agua.

En conformidad con Téliz (2017), el cultivo de aguacate prefiere una estructura con atributos granulares, debido a que ésta confiere al suelo aireación, por su alto contenido de poros. Los cuales permiten la infiltración del agua y la acumulación del aire, así mismo, se disminuye la compactación, favoreciendo el crecimiento radicular (Aguilar Alínquer, 2011).

## **Porosidad**

La porosidad es el espacio existente entre agregados de diferentes tamaños en el suelo. La Figura 6 permite comprender

de mejor manera la variable mencionada. De este modo, según la disposición de los agregados se pueden generar macroporos ( $>0,06\text{mm}$ ), mesoporos (entre  $0,01 - 0,06\text{ mm}$ ) y microporos ( $<0,01$ ). La porosidad es sumamente importante, teniendo en cuenta, que según estimaciones de la FAO los suelos están constituidos en un 50% por materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y un 50% restante por espacio poroso.



**Figura 6.** Relación de agregados y poros en el suelo.

**Fuente.** Elaboración propia

De acuerdo con Guirado (2015) el cultivo de aguacate, por lo general, exige suelos porosos y abundantes en materia orgánica, parecidos a los encontrados en su región de procedencia, en las sierras de origen volcánico de México y Guatemala. De igual forma, es importante considerar que el crecimiento radicular se desarrolla de manera superficial, dándose en los primeros 60 cm del suelo, entre el 70 y 80% de las raíces (ICA, 2012). Éstas presentan sensibilidad al encharcamiento, por lo que es recomendable iniciar un cultivo de aguacate teniendo en cuenta porosidades altas, sin embargo, si el cultivo ya está establecido y se tienen bajas porosidades, es necesario establecer sistemas de drenajes.



## VARIABLES QUÍMICAS

Así como las variables físicas son importantes para el desarrollo del cultivo, las variables químicas son fundamentales, pues están estrechamente relacionadas con la fertilidad, la cual se determina por la cantidad de nutrientes presentes en los suelos. En la Tabla 2 se observa que algunas variables químicas como: pH, fertilidad, contenido de materia orgánica, entre otras, tienen un tiempo de transformación y asimilación mayor, en relación con otras como la temperatura, el contenido de humedad y la porosidad. Esto indica que las variables relacionadas con la fertilización de los cultivos, tardan más en consumarse, pues implican habitualmente, cambios sustanciales en el estado nutricional del suelo, los cuales no pueden ser percibidos, tras poco tiempo de haber realizado la aplicación.

**Tabla 2.** *Propiedades de los suelos y su cambio en el transcurso del tiempo*

Propiedades de los suelos que cambian con el transcurso del tiempo		
Propiedades que cambian en minutos, horas o días	Propiedades que cambian en meses o años	Propiedades que cambian en cientos y miles de años
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura</li> <li>- Contenido de Humedad</li> <li>- Composición del aire en poros del suelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH</li> <li>- Color</li> <li>- Estructura</li> <li>- Contenido de Materia Orgánica</li> <li>- Fertilidad</li> <li>- Microorganismos</li> <li>- Densidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipos de minerales</li> <li>- Distribución de tamaño de partículas</li> <li>- Formación de horizontes</li> </ul>

**Fuente.** Tomado de (Levine, 1997)

### pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad que indica la concentración de iones de hidrogeno de una determinada solución. La disponibilidad de nutrientes en el suelo puede ser afectada

por el valor del pH, su importancia radica en que puede causar deficiencias de algunos componentes de la planta, inducir exceso nocivo de ciertos elementos y estimular algunos patógenos (Bisonó Pérez & Hernández, 2008). Diversas investigaciones han logrado determinar rangos óptimos de pH en el suelo, para diferentes cultivos. Para el caso del aguacate INTAGRI (2019) reporta que un pH óptimo está comprendido en el rango de 5,5 a 7. En Colombia, la práctica más usual para disminuir el nivel de acidez de los suelos consiste en la aplicación de cal, este procedimiento es muy difundido y en muchas ocasiones se realiza sin tener en cuenta un criterio técnico -científico.

### **Conductividad eléctrica**

Se refiere a la cantidad de sales disponibles, bien sea en el suelo o en el agua, éstas se miden indirectamente con un conductímetro, en donde se hallan valores en unidades de decisiemens ( $\text{dS/m} = \text{mmhos/cm}$ ), las cuales se comparan con la tabla establecida por Richards en 1954, y así se determina si el suelo tiene acumulación de sales o no. “Para el aguacate la conductividad establecida es  $< 2 \text{ mmhos/cm}$ , ya que cuando pasa de  $3 \text{ mmhos/cm}$  se presentan efectos tóxicos de los Cloruros de Sodio y Magnesia, los cuáles pueden generar , quemaduras en las puntas y bordes de las hojas, además de defoliaciones intensas” (Bisonó Pérez & Hernández , 2008).

### **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

Este valor indica la capacidad del suelo para retener e intercambiar nutrientes, de modo que puede establecer la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes (INTAGRI, 2010). En tal sentido, si los nutrientes estuvieran únicamente suspendidos en el suelo, serían fácilmente arrastrados por la lluvia y no estarían disponibles para



las plantas, por esto las arcillas y la materia orgánica cumplen la función de retener algunos nutrientes de manera temporal, esto se lleva a cabo, en vista de que estas tienen una carga negativa y generan energía electrostática, que permite a los nutrientes quedarse fijos al suelo.

Dichos componentes son conocidos como cationes y tienen carga positiva, entre ellos se encuentran: el calcio, el magnesio, el potasio y el amonio. Si una planta requiere de un nutriente como por ejemplo potasio, ésta por medio de sus raíces lo intercambia liberando un catión de hidrógeno, y así sucesivamente se repite este procedimiento de manera cíclica. Una manera sencilla de comprender porque la CIC indica la frecuencia de fertilización, es por medio de la siguiente analogía: si se tiene un vaso (suelo) con capacidad para albergar un litro, y a este se le agregan dos litros, esto conllevará a que 1 litro se pierda (fertilizante); mientras que, si primero se consume un litro y luego el otro, no se desaprovechará nada (Ulery, White, & Chamberlin, 2014).





# LOS MACRONUTRIENTES

Este grupo se conforma por elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, los cuales son clasificados de esta manera, por ser requeridos en cantidades superiores a los otros elementos, en este espacio solo abordaremos los 3 primeros mencionados.

## ✿ **Nitrógeno** ✿

El nitrógeno es un nutriente esencial requerido por los cultivos para el crecimiento y desarrollo óptimo. Este está involucrado en muchos procesos fisiológicos y metabólicos y es clave en la estructura que conforman las plantas, dado que es un constituyente primario de proteínas, enzimas y ácidos nucleicos. La forma en que se absorbe el nitrógeno por las plantas es en nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y un poco en amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Torres Barzuto , 2016), pero para alcanzar esto, según Navarro (2003) el nitrógeno primero debe llegar al suelo de las siguientes maneras:

- Fijación por microorganismos que viven libres en el suelo
- Fijación por bacterias como rhizobium u otras bacterias que están en simbiosis con las plantas.
- Aportes por el agua lluvia o la nieve
- Aportes de fertilizantes, a través de estiércoles y plantas verdes.

Este elemento al ya estar presente en el suelo, es de movilidad alta, y fácilmente captado por las raíces, pero puede ser lixiviado en condiciones de exceso de humedad. También se ha evaluado

que en árboles frutales aportes por separado o en conjunto de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), en general producen incrementos del crecimiento vegetativo y el aumento de la floración respectivamente (Agustí, 2004, pág. 92), esto conlleva a que este elemento sea ampliamente utilizado y se requiera en cantidades considerables.

## ✿ **Fósforo** ✿

El fósforo (P) es especialmente importante para el crecimiento de las plantas y la producción de alimentos (Liu & Chen, 2014), en tanto que, es requerido por todos los organismos vivos para poder desarrollar funciones básicas, como la síntesis de compuestos genéticos y celulares, el metabolismo y la transferencia energética (Sosa, 2018). Del mismo modo Crisologo et al. (2015) indican que el P propicia la generación del ATP (Adenosin Tri Fosfato), ácidos nucleicos, fosfolípidos y determinadas enzimas; los mismos autores, enfatizan su relevancia para el crecimiento radical, el proceso de floración y la conformación de frutas y semillas.

Este elemento es absorbido por las plantas en forma de ion orto fosfato ( $\text{PO}_4\text{H}_2$ ) y en menor medida, como ion fosfato secundario ( $\text{PO}_4\text{H}^-$ ), siendo que la absorción del primero es hasta diez veces más rápida que la del segundo, sin embargo, esto depende en gran medida del pH del suelo (Navarro, 2003). Debido a que la concentración de P en el suelo, por lo general, es inferior a la requerida por la planta, ha sido necesario desarrollar técnicas como las isotermas de solubilidad y adsorción (Moron, 1992), las cuales permiten una mejor incorporación de este macronutriente en los cultivos.

Sin embargo, la agricultura moderna tiene cada vez más dependencia del P derivado de las rocas fosfatadas, las cuales representan recursos naturales no renovables, inclusive, algunas estimaciones han determinado que las reservas mundiales de este elemento pueden terminarse en un período comprendido

entre los 50 y 100 años, lo cual, ciertamente repercutiría en la seguridad alimentaria global (Cordell, Drangert, & White, 2009). De acuerdo con la FAO (2007) la utilización apropiada y racional de las rocas fosfóricas, como materia prima para la obtención de fósforo, puede auxiliar la intensificación agrícola de manera sostenible, especialmente en los países en vía de desarrollo.

## **Potasio**

Después del nitrógeno, el potasio es considerado el elemento más absorbido por las plantas (Sela, s.f.), involucrándose en funciones como la fotosíntesis en donde regula la apertura y cierre de estomas, haciendo activación de enzimas y siendo esencial para la producción de energía en forma de trifosfato de adenosina (ATP) (Sela, s.f.). La forma de asimilación del nutriente por parte de las plantas es iónica  **$k^{+}$** , y esta se encuentra en cantidades del 0,1% y 0,2% del potasio total que hay en el suelo (Rebolledo R. & Dorado G., 2017). Este nutriente tiene gran movilidad y solubilidad en el interior de los tejidos de las plantas, en donde se encarga del transporte de azúcares desde las hojas a los frutos, conllevando a que su actividad este estrechamente relacionada con los aumentos de la producción.



## VARIABLES BIOLÓGICAS

En el suelo hay gran cantidad de organismos, los cuales actúan sobre los residuos vegetales y minerales, descomponiendo sustancias complejas en elementos simples aprovechables por las plantas. Esto permite que el suelo tenga características dinámicas. En este sentido, los organismos forman una comunidad organizada compuesta por productores, consumidores, depredadores y descomponedores de materia orgánica. (Betancourt, Sin fecha). Al respecto Coral E., Lozano & Moreno C. (2011) destacan:

El suelo es un ecosistema vivo en constante actividad, en él se encuentran gran cantidad de organismos cuyas actividades están relacionadas con el movimiento de agua y minerales, y son fundamentales en la descomposición de la MO (materia orgánica), en el ciclo de los nutrientes, en la síntesis de sustancias húmicas y en la fijación de nitrógeno. Los Organismos del suelo y su función: Los organismos vivos como lombrices, ácaros, nemátodos, entre muchos otros juegan un papel muy importante en la fertilidad del suelo. Entre los efectos benéficos de estos organismos sobre la nutrición de las plantas, tenemos: Descomposición de la materia orgánica, acción disolvente de minerales, fijación del nitrógeno, mayor absorción de nutrimentos, mantenimiento del equilibrio biológico del suelo

De otro lado, las micorrizas son una asociación o simbiosis entre plantas y hongos donde la planta provee carbono y estos últimos incrementan la asimilación de nutrientes (especialmente fósforo) y la tolerancia a la sequía de las plantas. Las micorrizas producen una glicoproteína llamada glomalina que promueve la formación de los agregados del suelo. (Estrada M & López D, 2015) (Figura 7).





**Figura 7.** Los microorganismos del suelo mantienen la estructura.

**Fuente.** Registro propio



## ¿QUÉ ES LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO?

La materia orgánica es una mezcla compleja de compuestos orgánicos como, residuos vegetales, productos microbianos e insumos de la rizosfera en varias etapas de descomposición. Se puede dividir en varios grupos funcionalmente relevantes, por ejemplo, materia orgánica particulada libre u ocluida, materia orgánica asociada a minerales, que difieren en función de su química, origen y estabilidad en el tiempo.

La materia orgánica del suelo contiene alrededor del 50% de carbono (C), también posee altos niveles de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) en proporciones fijas, que se liberan a la planta a medida que se mineralizan. Esta estequiometría de CNPS tiene implicaciones para la construcción de materia orgánica del suelo: cada aumento de unidad en C requiere un aporte fijo de N, P y S. El aumento del contenido de materia orgánica del suelo se puede lograr mediante la aplicación de enmiendas orgánicas,

que contienen C y otros nutrientes, o mediante la adición de fertilizantes inorgánicos y una fuente de C, como en los residuos de cultivos. Se han aplicado enmiendas orgánicas a los suelos para restaurar o mantener la fertilidad, la estructura y la capacidad productiva del suelo desde el inicio de la agricultura (Celestina, 2019).



## VARIABLES CLIMÁTICAS

La realización del análisis de suelos, más la generación de un adecuado plan de fertilización asociado a las variables climáticas, son factores determinantes para la adecuada nutrición del cultivo de aguacate, por lo tanto, antes de comenzar con una unidad productiva de aguacate se deben tener en cuenta todas estas variables.

Estudios realizados por Bernal Estrada (2016) en siete localidades del departamento de Antioquia, (Támesis a 1340 msnm, Venecia a 1510 msnm, Jericó a 1900 msnm, Marinilla a 2087 msnm, Rionegro a 2140 msnm y Entrerrios a 2420 msnm), donde se analiza el contenido de macro y microelementos en frutos de aguacate Hass, arrojaron como principales resultados que el clima afectó la composición nutrimental del fruto; donde los niveles de P, K, Mg, Na, S, Zn y B aumentaron con la altura y los niveles de Ca, Cu y Mn disminuyeron.

De este modo, las principales variables climáticas que afectan el cultivo de aguacate son: vientos, precipitación, temperatura, humedad relativa y luz solar; estos pueden influir significativamente y se deben tener en cuenta al momento de diseñar el plan de fertilización en el cultivo de aguacate. Las variables climáticas mencionadas se relacionan directamente con la altitud y la latitud, proporcionando un mejor ajuste al plan de fertilización desarrollado por el técnico del cultivo, debido a que estos dos factores pueden influir en los cambios de estas

variables, y muchas veces hacen que zonas consideradas como “no aptas” para el cultivo del aguacate de la variedad Hass, generen condiciones especiales de producción, debido al origen de microclimas especiales, que ajustados a una adecuada nutrición dan como resultado un aguacate de calidad ajustado a la talla que exige el mercado internacional.

**Vientos:** En zonas con vientos pronunciados, los aportes de calcio son fundamentales desde el inicio de la plantación, ya que este elemento forma parte de la pared celular que mantiene unidas las células de la planta, aportándole rigidez. En épocas de floración los aportes de calcio, boro y zinc son importantes para evitar la caída masiva de la flor y su estabilidad para posterior cuajado.

**Precipitación:** El aguacate tiene una amplia adaptación a la pluviosidad (Saucó, 1990), siendo este un factor que aporta humedad al suelo, lo cual es esencial al momento de realizar el proceso de aplicación de fertilizantes edáficos sólidos al suelo. La recomendación general para aplicación de fertilizantes edáficos sólidos al suelo, es que éste tenga una humedad adecuada para la fácil dilución de nutrientes, de manera que, sean absorbidos por la planta de aguacate, la cual es aportada por la lluvia precipitada dentro de un cultivo que no cuente con sistema de riego. Dentro de la formulación del plan de fertilización es menester tener en cuenta el factor suelo húmedo para la aplicación de fertilizantes; casos extremos de sequía obligan a fertilizar y posteriormente remojar con agua, lo que incrementa la mano de obra en el cultivo.

**Temperatura:** Esta variable afecta directamente al cultivo de aguacate, principalmente al momento de que la fruta está próxima a la cosecha, ya que variaciones de temperatura pueden acelerar o retrasar la madurez del fruto. Diversas investigaciones afirman que las variaciones de temperatura también influyen en la forma redondeada o alargada del fruto; en este sentido, es necesario definir si un fruto redondo tiene esta condición por el factor temperatura o por deficiencia de boro, el cual debe ser aportado en el plan de fertilización si la redondez se debe a esta segunda condición.

**Humedad relativa:** El exceso de humedad relativa puede afectar el cultivo del aguacate ya que causa enfermedades fungosas como la roña; incorporar aplicaciones de azufre y cobre foliares y edáficas en los planes de fertilización pueden solucionar el problema de ataque de hongos que se da a nivel del fruto principalmente. Según investigaciones realizadas por algunos autores, la humedad relativa baja puede ocasionar muerte del polen y por ende baja productividad del cultivo de aguacate. Incorporar elementos menores como silicio puede ayudar a la generación de defensas en la planta para que ésta sea más resistente a efectos adversos causados por ambientes secos.

**Luz solar:** La luz directa del sol, sobre todo en el fruto del aguacate, puede causar golpe de sol asociada también a la deficiencia de nitrógeno, por ello se debe recomendar las aplicaciones de este elemento en el cultivo de aguacate, aunque según observaciones realizadas en campo, los árboles que tienen follaje adecuado no sufren este problema.

# CAPÍTULO III

## CONCEPTOS BÁSICOS DE **NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN EN AGUACATE**





La nutrición es un aspecto fundamental en el cultivo del aguacate, ya que influye notoriamente al momento del consumo del producto final, reflejado en su calidad y sabor; además la adecuada nutrición del cultivo determina su potencial productivo. Como punto de partida, desde el momento del establecimiento del cultivo de aguacate, como en sus posteriores etapas de desarrollo y producción, el análisis de suelos juega un papel preponderante para el diseño en el plan de nutrición del cultivo, por aspectos que en él se encuentran como, contenido nutricional disponible en el suelo, textura, contenido de aluminio, manganeso, hierro, pH y salinidad.



## CONTENIDO NUTRICIONAL

Dentro del factor nutricional debemos tener en cuenta el porcentaje de materia orgánica disponible en el suelo, donde estudios realizados en México por INTAGRI (2019) mencionan porcentajes adecuados de 2.5% a 5% que le proporciona una buena estructura y una adecuada proporción de aire y agua para facilitar el drenaje dentro del suelo; en muchas zonas del país se tienen porcentajes de materia orgánica mucho mayores que han propiciado árboles con altas propiedades productivas, llegando a concluir que la materia orgánica en el cultivo del aguacate incrementa la eficiencia nutricional y mejora las propiedades físicas del suelo, por lo que se debe tener en cuenta este insumo para la formulación del plan de fertilización.

Estudios mencionados por otros autores, destacan la importancia de los elementos mayores, menores y secundarios, donde hay que tener en cuenta que suelos de climas fríos, templados y cálidos tienen diferentes características, por lo que, igualmente van a

demandar cantidades distintas de elementos disponibles para la planta. También es importante tener en cuenta que elementos como el aluminio, hierro y manganeso en altas cantidades generan toxicidad a las plantas de aguacate, haciendo que los nutrientes que hay en el suelo no estén disponibles, trayendo consigo, árboles con problemas nutricionales durante todo el proceso productivo.



## LA FERTILIZACIÓN Y LA IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE SUELOS Y FOLIAR EN EL CULTIVO DE AGUACATE

Dentro de los programas de fertilización de los cultivos de aguacate, con miras a la exportación y en especial, a la certificación de las fincas en programas de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), el plan de fertilización constituye una herramienta muy importante dentro de los principios de las BPA.

La elaboración de los planes de fertilización no debe considerarse como un “requisito” o una “obligación” cuando el productor implementa programas de certificación en su finca, pues esta es una de las razones por las cuales no se contempla la fertilización como una de las etapas más importantes dentro del manejo agronómico de los cultivos y se incurre en fallas como la sobredosificación y la subdosificación de los mismos, con todos los costos tanto ambientales, como económicos que esto implica.

Estudios de caso realizados en el Oriente Antioqueño, evidencian falencias en el uso de este tipo de análisis. Por ejemplo, en el municipio de Sonsón, en un estudio de línea base, se logró establecer que sólo el 31% de los productores hace análisis edáfico

y el 6% foliar. (SENA Centro de la Innovación la Agroindustria y la Aviación-SENA Emprende Rural-AGROSENA, 2017). Por otra parte, en una investigación dirigida por el Centro de la Innovación la Agroindustria y la Aviación con productores de aguacate del municipio de Abejorral, se encontró que estaban aplicando aproximadamente 30 kilos de fertilizante ha/año observándose altos incrementos en los costos de fertilización por incorrectas recomendaciones y planificaciones de la fertilización. (Rengifo M & Ruíz., 2018).

Además de las afectaciones económicas, el uso inadecuado de los fertilizantes puede generar impactos negativos en los ecosistemas. Al respecto, el cuidado del medio ambiente, implica un compromiso hacia el correcto manejo y uso del suelo, no contaminar las fuentes hídricas, utilizar de forma racional los fertilizantes y preservar la biodiversidad.

Teniendo en consideración estos criterios de sostenibilidad, es importante comprender que son múltiples los factores que inciden en el cultivo y que afectan su productividad, esto se puede observar en los diferentes rendimientos presentados. Ver Tabla 3.

**Tabla 3.** Comparación de la productividad del aguacate entre varios países y municipios del Oriente Antioqueño.

País y/o región, municipio	Rendimiento (T/Ha)	Cultivo	Año	Fuente
Colombia, Aguacate	8,02	Aguacate	2017	Dato calculado, FAOSTAT, 2017
Antioquia, Aguacate	6,97	Aguacate	2018	AGRONET, 2017
Antioquia, Hass	9,53	Aguacate Hass	2017	AGRONET, 2017
El Retiro, Aguacate	20	Aguacate	2018	AGRONET, 2018
Argelia, Aguacate	16	Aguacate	2019	AGRONET, 2019
Guarne, Aguacate	16	Aguacate	2020	AGRONET, 2020
Sonsón, Aguacate	14	Aguacate	2021	AGRONET, 2021
San Vicente, Aguacate	10	Aguacate	2022	AGRONET, 2022
Abejorral, Aguacate	9,5	Aguacate	2023	AGRONET, 2023
México, Aguacate	10,76	Aguacate	2017	Dato calculado, FAOSTAT, 2017
Chile, Aguacate	4,44	Aguacate	2017	Dato calculado, FAOSTAT, 2017
Perú, Aguacate	11,82	Aguacate	2017	Dato calculado, FAOSTAT, 2017
Sudáfrica, Aguacate	5,32	Aguacate	2017	Dato calculado, FAOSTAT, 2017
Estados Unidos, Aguacate	5,80	Aguacate	2017	Dato calculado, FAOSTAT, 2017
California, Hass	10,6	Aguacate Hass	1986	Westemhole, 1986
Israel Campo, Hass	21,61	Aguacate Hass	1987	Westemhole, 1987
Teórico, Hass	32,5	Aguacate Hass	1988	Westemhole, 1988

**Fuente.** Elaboración propia (2019) con base en la bibliografía consultada

De este modo, es importante el uso del análisis de suelos, el foliar o análisis nutricional de las hojas en las especies, así mismo, el conocimiento de los requerimientos de los cultivos, para establecer muy bien la fertilización tanto orgánica como mineral a implementar. Van Reuler y Prins (1993) mencionados por Barrera, Cruz & Melgarejo (2010) así lo establecen:

Solamente el conocimiento profundo de las necesidades nutricionales de cada especie, el sistema de absorción y transporte de esos diferentes nutrientes y el efecto de las limitaciones nutricionales de cada elemento en el crecimiento y desarrollo de las plantas, permitirán adecuar planes de manejo nutricional en la medida que respondan a las necesidades de los vegetales, evitando aplicaciones innecesarias de abonos, cuyos excesos generalmente se traducen en pérdidas económicas, además de convertirse en contaminantes del suelo, de las fuentes de agua y del aire, afectando al mismo hombre (Van Reuler y Prins, 1993, mencionados por Barrera, Cruz & Melgarejo, 2010, p. 2).





# EL ANÁLISIS FOLIAR Y SU INTEGRACIÓN A LOS PLANES DE FERTILIZACIÓN

Según Martínez & Soriana (2014) “El análisis foliar o de tejidos vegetales es una herramienta esencial para el diagnóstico nutricional de cultivos. Consiste en medir el contenido total de los nutrientes presentes en las hojas u otra parte de la planta, a través de procedimientos químicos específicos”.

La concentración de nutrientes en la hoja integra el conjunto de factores que influyen en la absorción, disponibilidad, características del suelo, clima, edad, tipo de cultivo y manejo. Por este motivo el análisis foliar es un método de diagnóstico utilizado para determinar el estado nutricional del cultivo, e indirectamente evaluar la fertilidad del suelo.

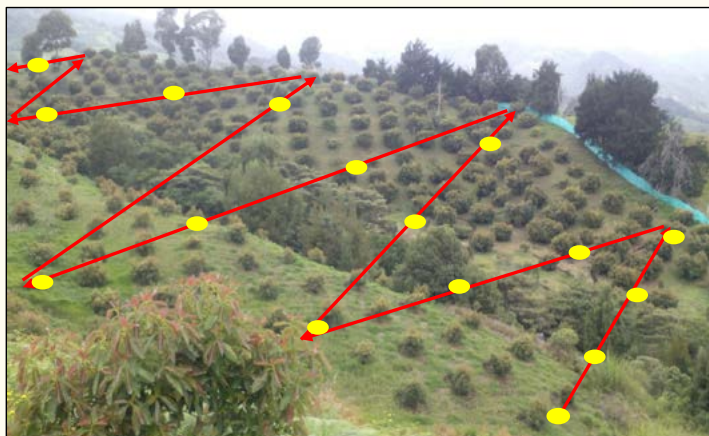
Se deberá procurar no tomar muestras sobre plantas situadas cerca de caminos, edificios, etc., ni en aquellas que tengan acumulación de residuos por algún tipo de tratamiento por aspersión, ya que los análisis no serán representativos. Igualmente, es importante considerar que, si se ha dado un tratamiento fitosanitario, se deben dejar pasar, al menos 8 días antes de tomar las muestras para analizar.

## *Metodología para la toma de muestras foliares en aguacate*

El número de árboles a muestrear será entre 10 y 20 por hectárea, evitando aquellos que presenten algún tipo de daño (plaga, enfermedad, encharcamiento o sequía, o hayan sido abonados recientemente) pues, los resultados pueden verse alterados y

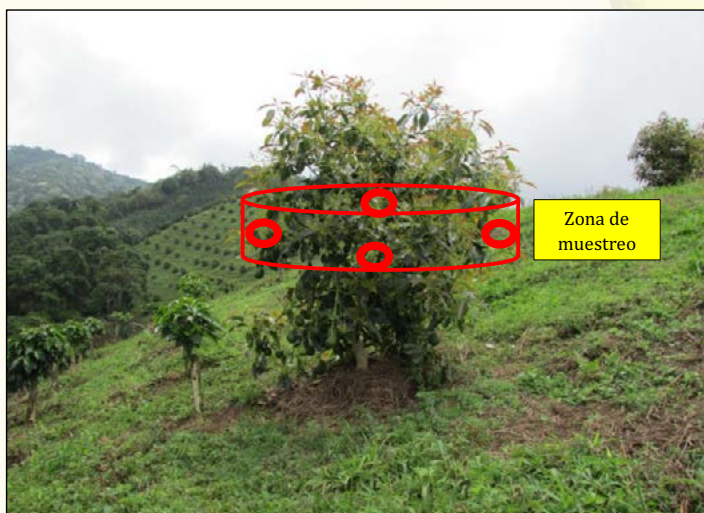
no corresponder con la realidad. El recorrido para la toma de la muestra debe ser efectuado en zigzag, de arriba hacia abajo, tal como se establece en la Figura 8.

Las hojas deben tomarse a una altura que corresponda a la mitad de la copa y distribuidas alrededor de la misma, tomándose una por cada punto cardinal (4 hojas por árbol). (Figura 9).



**Figura 8.** Recorrido para la toma de muestras foliares.

**Fuente.** Registro propio



**Figura 9.** Zona de muestreo en el árbol de aguacate.

**Fuente.** Registro propio

Las hojas deben tomarse completas (peciolo más limbo) y ser seleccionadas de ramas que no tengan frutos. (Figuras 10 y 11). El periodo de tiempo transcurrido entre la toma de muestras y la recepción por el laboratorio deberá ser el más corto posible.



**Figura 10. Ejemplo de hoja a muestrear en la rama de aguacate.**

**Fuente.** Foto tomada de Campos León & Calderón Zaragoza (2015)



**Figura 11. Ejemplo de hoja a muestrear.**

**Fuente.** Registro propio

En investigación para correlacionar contenidos nutrimentales de las hojas con árboles individuales, se requerirá tomar la mayor cantidad de hojas por árbol. (Figura 12).



**Figura 12.** Toma de muestras (mayor número de hojas por árbol) para investigación.

**Fuente.** Registro propio

Las muestras de hojas deben enviarse en bolsas debidamente identificadas (Tabla 4). Las muestras deben ser enviadas en bolsas de papel limpias, y se llevan al laboratorio idealmente aisladas de la temperatura ambiente para no alterar las muestras. No exponer al sol. Si en ese momento no es posible llevarlas al laboratorio, hay que colocarlas en el refrigerador, en su parte baja, en un período no superior a 3 días.

**Tabla 4.** *Formato ejemplo para la etiqueta de la bolsa a enviar a laboratorio*

<b>Fecha toma de la muestra</b>	
Finca	
Vereda	
Municipio	
Departamento	
Cultivo	
Propietario	
Tomador muestra-contacto	
Email	
Celular	
Nº. de muestra	
Peso muestra	
Observaciones	

**Fuente.** Elaboración propia



### ***Tabla de niveles críticos foliares para el cultivo de aguacate***



Se presenta a continuación una relación de diferentes fuentes, con una tabla para la interpretación de los niveles críticos, para los resultados de los análisis foliares en aguacate CV “Hass”.

Martínez C., Muena Z, & Ruíz Ch., 2014 presenta una recopilación de Lahav y Whitey (2002). Jones y Embleton (1978): Embleton y Jones (1966) y Ruiz y Ferreyra (2011), con los estándares para análisis foliar en palto Hass. Tabla 5.



**Tabla 5.** Estándares para análisis foliar en palto Hass.

Nutriente	Deficiente	Adecuado	Exceso
Nitrógeno (%)	<2,0	2,0-2,4	>2,7
Fósforo (%)	<0,14	0,14-0,25	>0,30
Potasio (%)	<0,90	0,90-2,0	>3,0
Calcio (%)	<0,50	1,0-3,0	>3,0
Magnesio (%)	<0,15	0,25-0,80	>1,0
Azufre (%)	<0,05	0,20-0,60	>1,0
Manganeso (mg kg <sup>-1</sup> )	<15	30-500	>750
Hierro (mg kg <sup>-1</sup> )	<40	50-200	-
Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )	<20	40-80	>100
Boro (mg kg <sup>-1</sup> )	<20	40-60	>100
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	<3	5-15	>25
Cloro (%)	-	-	0,25-0,50
Sodio (%)	-	-	0,25-0,50

<sup>1</sup> Estándar en base a hojas de 5-7 meses del flujo primaveral sin crecimiento nuevo y sin fruta.

**Fuente.** Martínez et al, 2014.

**Nota:** Esta cartilla cuenta con temas introductorios, que el próximo año se ampliarán en una segunda versión, donde se tratarán temas de requerimientos nutricionales, sinergismo y antagonismos de nutrientes, interpretación de análisis de suelos y deficiencias en el cultivo de aguacate.

# BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio* , 55-59.
- Aguilar Alínquer, B. (2011). Estructura. En B. Aguilar Alínquer, El suelo de cultivo y las condiciones climáticas (pág. 17). IC EDITORIAL.
- Agustí, M. (2004). e-libro. Recuperado el Octubre de 2019, de <https://ebookcentral-proquest-com.bdigital.sena.edu.co/lib/senavirtualsp/reader.action?docID=3175727&query=macronutrientes%2Ben%2Bplantas>
- Barrera, J., Cruz, M., & Melgarejo, L. M. (2010). Nutrición Mineral. En *Experimentos en Fisiología Vegetal* (págs. 79-106). Bogotá: Charlie's impresores Ltda.
- Bernal E, J., Díaz D., C., Osorio T, C., Tamayo V, A., Osorio V, W., Córdoba G, O., . . . Londoño B., M. (2014). Actualización Tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el Cultivo de Aguacate. Medellín, Colombia: Corpoica.
- Bernal Estrada, J. (2016). Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia. Medellín, Colombia. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://bdigital.unal.edu.co/50844/1/70120906.2016.pdf>
- Bertsch, H. F. (2009). Absorción de nutrientes por los cultivos. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Betancourt, G. A. (Sin fecha). Buenas Prácticas Agrícolas para el Cultivo de Plátano. Manejo del Suelo.
- Bisonó Pérez, S., & Hernández, J. (2008). Guía tecnológica sobre el cultivo del aguacate. Santo Domingo: Cluster del Aguacate Dominicano.
- Bojórquez, A. D., Gutiérrez, C. G., Báez, R. C., Sánchez, M. Á., Montoya, L. G., & Pérez, E. N. (2010). BIOFERTILIZANTES EN EL DESARROLLO AGRÍCOLA DE MÉXICO. Ra Ximhai. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable, 51-56.

- Campos León, M., & Calderón Zaragoza, M. (2015). *Críterios Generales para el Establecimiento de una Plantación de Aguacate*. Málaga, España: JUNTA DE ANDALUCÍA. Instituto de investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.
- Cardona, W., & Bolaños Benavides, M. (2019). Repository Agrosavia. (Agrosavia, Ed.) Recuperado el 2019, de Agrosavia: <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/35452/libro%20mora%20digital.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Celestina, C. H. (2019). Soil & Tillage Research. En C. Corine, J. R. Hunt, P. WG Sale, & A. E. Franks, Attribution of crop yield responses to application of organic amendments: A critical review. (págs. 135 - 145). Elseiver. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198718307359?via%3Dihub>
- Coral E, D., Lozano, M., & Moreno C, D. (Julio de 2011). *Prácticas Culturales y de Manejo de Suelos ante los Efectos de la Variabilidad Climática desde la Finca del Productor*. 52. Bogotá, Colombia: Produmedios.
- Cordell, .. D., Drangert, J.-O., & White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 292 - 305.
- Crisologo, Balta Crisólogo, R., Rodríguez del Castillo, Á., Guerrero Abad, R., Cachique, D., Alva Plasencia, E., . . . Loli, O. (2015). Absorción y concnetración de nitrógeno, fósforo y potasio en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en suelos ácidos, San Martín, Perú. *Folia Amazónica*, 123 - 130.
- DANE . (2016). *Cultivo del aguacate Hass, plagas y enfermedades durante la temporada de lluvias*. Bogotá, Colombia: Dane.
- Danneynrolles, J.-L. (2012). *La Fertilización Orgánica* . En J.-L. Danneynrolles, Larousse del Huerto Ecológico (págs. 58-59). Larousse.
- E. Guirado, J. H. (2015). *Cultivo ecológico y convencional del aguacate. 13 años de observaciones en árboles adultos*. VIII CONGRESO

## MUNDIAL DE LA PALTA . Lima, Perú.

Edafología. (22 de 08 de 2019). Edafología.net. Obtenido de <http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm#anchor618597>

Estrada M, H., & López D, M. (2015). Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas del Suelo. Bioagrociencias, 8(1), 9.

FAO . (2017). PERSPECTIVAS MUNDIALES DE LAS PRINCIPALES FRUTAS TROPICALES. Perspectivas, retos y oportunidades a corto plazo en un mercado global pujante. Roma: FAO.

FAO. (2000). MEJORAMIENTO DEL SUELO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/v5290s/v5290s30.htm>

FAO. (2002). Fertilizantes, su presentación, calidad y etiquetado. En FAO, Los Fertilizantes y su Uso (págs. 33-44). Roma: FAO.

FAO. (2007). Utilización de las rocas fosfóricas para una Agricultura sostenible. Roma : FAO.

FAO. (s.f). Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 13 de Septiembre de 2019, de [http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s07.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm)

FAOSTAT. (20 de junio de 2019). Fertilizantes por nutriente. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/RFN>

Fernandez-Mena, H., Nesme, T., & Pellerin, S. (2016). Towards an Agro-Industrial Ecology: A review of nutrient flow modelling and assessment tools in agro-food systems at the local scale. Science of The Total Environment , 467-479.

GLOBE. (1997). Investigación de Suelos. GLOBE .

Guerrero Riascos , R. (s.f). Manual técnico propiedades generales de los fertilizantes. Bogotá, Colombia: Monómeros.

ICA. (2012). Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass. Bogotá, Colombia: ICA.

- IGAC, I. G. (2000). Consideraciones generales para interpretar análisis de suelos. (IGAC, Ed.) Bogotá, Colombia.
- INTAGRI. (2010). La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo . Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- INTAGRI. (2019). Requerimientos de Cultivo y Suelo en el cultivo de Aguacate . Guadalajara, México : Intagri.
- INTAGRI S.C. (Mayo de 2019). Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/la-asfixia-radicular-en-el-cultivo-de-aguacate>
- Levine, E. (1997). Investigación de Suelos. GLOBE.
- Liu, Y., & Chen, J. (2014). Phosphorus Cycle. Encyclopedia of Ecology, 181-191.
- Martínez C., J. P., Muenza Z, V., & Ruíz Ch., R. (2014). Nutrición y Fertilidad en Palto. (B. I. 283, Ed.) La Cruz, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Martínez, P., & Soriana, F. (2014). Muestreo para análisis foliar. 2p. México: Plegable para productores.
- Mejía Vélez, E. (2011). Aguacate. Bogotá, Colombia: Bayer CropScience.
- Molina, E. (2007). infoagro.go.cr. Obtenido de <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>
- Moron, A. (1992). El fósforo en el sistema suelo-planta. INIA Inv. Agr, 46 - 60.
- Moya, E. T., Suárez, D. A., Aristizabal, C. D., Gómez, S. C., Mutis, L. B., & Hernández, C. A. (2016). Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avena sativa*). Pastos y Forrajes, 102-110.



- Navarro, B. (2003). e-libro. Obtenido de <https://ebookcentral-proquest-com.bdigital.sena.edu.co>
- Osorio, N. W. (2014). Manejo de nutrientes en suelos del trópico.
- Pacheco Ormond, J., Lima de Paula, S., Faveret Filho, P., & Rocha, L. (2002). Agricultura Orgânica: Quando o Passado é Futuro. Rio de Janeiro, Brasil: BNDS.
- Peña V, R. A. (2013). Manual técnico para la interpretación de análisis de suelos y fertilización de cultivos. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Portal Frutícola . (30 de Julio de 2019). Portal Frutícola . Obtenido de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/07/30/aguacates-envios-de-colombia-crecen-51-mientras-se-fortalece-presencia-en-asia/>
- Rebolledo R., A., & Dorado G., D. Y. (2017). Criterios para la definición de planes de fertilización en el cultivo de Aguacate Hass con un enfoque tecnificado. Mosquera, Cundinamarca: CORPOICA.
- Rengifo M, P., & Ruíz., D. (2018). Optimización de la Fertilización del Cultivo de Aguacate CV. "Hass" (Persiana americana mill.). Rionegro: Revista Encuentro SENNOVA del Oriente Antioqueño 4 Ed.
- Sauco, V. G. (1990). Los frutales tropicales en los subtrópicos: aguacte, mango, litchi y longan. Madrid, España: Mundi-Prnesa Libros.
- Sela, G. (s.f.). SMART FERTILIZER MANAGEMENT. Obtenido de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/potassium-in-plants>
- SENA Centro de la Innovación la Agroindustria y la Aviación-SENA Emprende Rural-AGROSENA. (2017). (Antioquia)., Establecimiento de la línea base de predios productores de aguacate en el Municipio de Sonsón. Rionegro, Antioquia: SENA.
- SENA, C. d. (2017). Vigilancia Estratégica y Análisis del Sector Aguacate. Rionegro, Antioquia: SENA.

Sosa, O. (2018). Phosphorus redox reactions as pinch hitters in microbial metabolism. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 7 - 8 .

Stella, M., Theeba, M., & Illani, Z. I. (2019). Organic fertilizer amended with immobilized bacterial cells for extended shelf-life. *Elsevier logo*, 2-13.

Téliz, D. (2007). *El aguacate y su manejo integrad*. 2a ed. México: Mundi-Prensa.

Torres Barzuto , J. (2016). Absorción, distribución y acumulación de nitrógeno en banano variedad Williams en dos ciclos de producción en zona húmeda tropical. Tesis, Bogotá, Colombia. Recuperado el 9 de Octubre de 2019, de <http://bdigital.unal.edu.co/52788/1/jaimetorresbazurto.2016.pdf>

Torres-Moya, E., Ariza-Suárez, D., Baena-Aristizabal, C. D., Cortés-Gómez, S., Becerra-Mutis, L., & Riaño-Hernández, C. A. (2016). Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avena sativa*). *Pastos y Forrajes*, 102-110.

Tradired. (2017). Tradired. Obtenido de <http://tradired.com/nutrientes/>

Ulery, A., White, L., & Chamberlin, B. (2014). *scienceofagriculture.org*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=pay24aTMiWA>

Universidad de Valencia . (11 de 10 de 2015). Los Agroquímicos más utilizados . Obtenido de <https://www.uv.es/uvweb/master-quimica/es/blog/agroquimicos-mas-utilizados-1285949128883/GasetaRecerca.html?id=1285953068917>

Universidad de Valencia. (10 de 12 de 2015). Universidad de Valencia. Obtenido de <https://www.uv.es/uvweb/master-quimica/es/blog/agroquimicos-mas-utilizados-1285949128883/GasetaRecerca.html?id=1285953068917>

Walter O, N. (Sin fecha). Presentación. Síntomas Visuales de Deficiencias Nutricionales (pág. 76). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 6 de Septiembre de 2019, de <https://sites.google.com/site/nwosorio/>

Wang, H., Xu, J., Liu, X., Zhang, D., Li, L., Li, W., & Sheng, L. (2019). Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China. *Soil and Tillage Research*, 1-9.

Wolstenholme, B. N. (2013). Energy costs of fruiting as a yield-limiting factor, with special reference to avocado. *Acta Horticola*, 121-126.

Zhang, Y. H. (2019). sciencedirect. Obtenido de [doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.018](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.018)



SERVICIO NACIONAL  
DE APRENDIZAJE

SENNOVA™

